

Projektbeschreibung

Titel: Grenzen von Sojabohnen-Anbausystemen in Mitteleuropa: Nutzung von pflanzenwachstumsfördernden Rhizobakterien für eine stabile und ressourcenschonende Produktion.

Kurztitel: FiSBea

Teil I:

Das Ziel von AP 1 bestand darin, die Machbarkeit des Transfers biologischer Stickstofffixierungsressourcen und -technologien zwischen Japan und Deutschland zu untersuchen. Dabei wurde auf die vorherige Zusammenarbeit zwischen den Partnerinstitutionen zurückgegriffen, um vielversprechende einheimische Sojabohnen-Rhizobium-Stämme auszuwählen, die aus Böden in Deutschland und Polen isoliert wurden. Damit sollte die Sojabohnenproduktivität unter den Anbaubedingungen im Nordosten Deutschlands durch die Optimierung der Pflanzen-Rhizobien-Wechselwirkungen verbessert werden, die in dieser Region typischerweise eingeschränkt sind. Aus einer früheren Sammlung von 77 in ganz Deutschland isolierten Stämmen wurden 10 mit starkem symbiotischem Potenzial identifiziert. Diese Sammlung wurde um fünf vielversprechende Stämme aus Ackerflächen in Polen erweitert. Wir bewerteten die symbiotische Leistungsfähigkeit dieser ausgewählten Stämme und ihre Wechselwirkungen mit verschiedenen Sojabohnen-Sorten, aus denen fünf Stämme mit der besten Leistung für eine weitere Bewertung unter Feldbedingungen in Deutschland ausgewählt wurden. Diese Studie ergab, dass unter Gewächshausbedingungen das Trockengewicht der Triebe und der Stickstoffgehalt signifikant durch die Sojabohnen-Sorte, *Bradyrhizobium* und die Wechselwirkungen zwischen Sojabohnen-Sorte und *Bradyrhizobium* beeinflusst wurden.

In AP 2 wurden Einzel- und Co-Inokulationen der ausgewählten einheimischen und ausländischen Stämme neben einem weit verbreiteten kommerziellen Referenzstamm, *Bradyrhizobium japonicum* USDA110, bewertet, um einen Vergleich unter agronomischen Feldbedingungen zu ermöglichen. Diese Bewertungen wurden in unterschiedlichen Anbaumgebungen in Deutschland und Japan durchgeführt, um die Stabilität und Robustheit der Stammeistung unter verschiedenen Klima- und Bodenbedingungen zu beurteilen. Die Studien ergaben, dass die Koinokulation von Rhizobienstämmen unterschiedlicher Herkunft zu Kornerträgen und Produktivitätsniveaus führte, die statistisch mit denen vergleichbar waren, die mit Einzelinokulationen der einheimischen und kommerziellen Stämme erzielt wurden.

Darüber hinaus untersuchte AP 2 die Reaktion von Sojabohnen auf verschiedene trägerbasierte *Bradyrhizobium*-Impfstoffformulierungen. Ziel war es, die Eignung alternativer Trägermaterialien für Rhizobien-Impfstoffe zu untersuchen. Wir wollten die Leistung der beiden vielversprechendsten einheimischen Stämme, GMF14 und GEM96, optimieren, indem wir alternative Impfstoffträgermaterialien evaluierten, um die weit verbreiteten torfbasierten Formulierungen unter Feldbedingungen zu ersetzen. Die Studie identifizierte zwei Trägermaterialien, neuartige und aus Holz gewonnene Biokohle, als vielversprechende Alternativen zu Torf, dessen Verwendung mit Nachhaltigkeitsbedenken verbunden ist. Bei den meisten gemessenen Parametern war die Leistung der neuartigen und auf Biokohle basierenden Formulierungen mit der von torfbasierten Impfstoffen vergleichbar. Die Ergebnisse liefern eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für die Auswahl leistungsstarker und an die Umwelt angepasster Stämme und Trägermaterialien für die potenzielle Entwicklung neuer kommerzieller Inokulantien. Während die ersten Ergebnisse das Potenzial von neuartiger Holzkohle und deren Co-Formulierungen als nachhaltige Trägeroptionen belegen, wird eine weitere Optimierung der Formulierungseigenschaften (z. B. Feuchtigkeitsspeicherung, Überlebensfähigkeit der Mikroorganismen und Lagerstabilität) empfohlen, um ihre Wirksamkeit bei der Unterstützung der Wechselwirkungen zwischen Sojabohnen und Rhizobien zu maximieren.

AP 3 umfasste fünf Feldversuche, mit denen untersucht werden sollte, wie sich die Heterogenität der Umwelt und Bewirtschaftungspraktiken auf den Ertrag von Sojabohnen und die gesamten Anbausysteme auswirken. Dabei wurden die Auswirkungen von Schwankungen des mineralischen Stickstoffgehalts im Boden, der anfänglichen Bodenfeuchte, der Bodenbearbeitungssysteme, der Bewässerungsregime und der Fruchtfolge auf die Produktivität von Sojabohnen, die Dynamik der Knöllchenbildung und die Reaktionen des Bodenmikrobioms über Zeit und Raum hinweg bewertet.

Im ersten Versuch (2021–2023) haben wir verschiedene Strategien zur Bekämpfung von Zottiger Wicke als Vorfrucht für Sojabohnen evaluiert, um Stickstoff für den Start zu liefern und das frühe vegetative Wachstum zu fördern, das unter den ressourcenbeschränkten Bedingungen Nordostdeutschlands oft eingeschränkt ist. Dieser Ansatz ist besonders relevant für ökologische Sojabohnenanbausysteme auf wenig fruchtbaren Böden, wo es häufig zu vorübergehenden Stickstoffengpässen kommt. Unabhängig von der Abtötungsmethode führte die Zottige Wicke im Frühjahr durchweg zu deutlich höheren Konzentrationen an anorganischem Stickstoff im Boden. Ein erhöhter Stickstoffgehalt war jedoch in der Regel mit einer verminderten Knöllchenbildung bei Sojabohnen und in einigen Fällen mit geringeren Korn- und Eiweißerträgen verbunden. Im Gegensatz dazu verbesserte die spezielle Bodenbearbeitung, bei der nur die unterirdische Biomasse eingearbeitet wurde, die Knöllchenbildung, was auf eine verbesserte Synchronisation zwischen Stickstoffverfügbarkeit und biologischer Stickstofffixierung hindeutet, mit potenziellen Vorteilen für die Korn- und Eiweißproduktion.

Im zweiten Experiment untersuchten wir die Dynamik der Bodenpilzgemeinschaft nach dem Anbau von Zottiger Wicke als Vorfrucht für Sojabohnen. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten positiven Zusammenhang zwischen dem Gehalt an mineralischem Stickstoff im Boden und den meisten der analysierten Pilzfamilien. Aspergillaceae und Nectriaceae waren die dominierenden Familien, mit einer höheren relativen Häufigkeit in der Rhizosphäre von Sojabohnen im Vergleich zu Böden unter Zottiger Wicke.

Im dritten Experiment von AP 3 untersuchten wir in einer zweijährigen Feldstudie die Auswirkungen einer Veränderung der anfänglichen Bodenfeuchte durch zusätzliche Bewässerung vor der Aussaat von Sojabohnen und deren Beitrag zur Steigerung der Sojabohnenproduktivität. Es wurde beobachtet, dass eine Veränderung des Bodenfeuchtegehalts zum Zeitpunkt der Aussaat einige Ertragsvariablen von Sojabohnen erheblich beeinflusst. Allerdings hatte die klimatische Variabilität zwischen den Jahren insgesamt einen stärkeren Einfluss auf die Pflanzenleistung als die einzelnen Behandlungseffekte. Die Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse über Stickstoffübertragungseffekte und die anfängliche Bodenfeuchte sowie deren Auswirkungen auf die Optimierung der Sojabohnenleistung in ökologischen und Low-Input-Produktionssystemen.

Darüber hinaus wurden in AP 3 die Übertragungseffekte des Sojaanbaus auf die nachfolgende Maisernte innerhalb der Fruchtfolge bewertet, wobei der Schwerpunkt auf der Systemproduktivität und der physikalisch-chemischen Dynamik des Bodens lag. Die Studie zeigte, dass die Bewässerung zwar den Kornenertrag des nachfolgenden Maises deutlich steigerte, Fruchtfolgen mit Sojabohnen jedoch nur begrenzte Auswirkungen auf den Maisertrag und die Stickstoffaufnahme der Silage hatten. Langfristig blieben die gesamten Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Boden unter Fruchtfolgen mit Sojabohnen weitgehend unverändert; jedoch stieg der Gehalt an mineralisiertem Stickstoff in den meisten Jahren an, was auf eine verbesserte kurzfristige Stickstoffverfügbarkeit ohne messbare Veränderungen der gesamten Nährstoffvorräte hindeutet.

Parallel zur Bewertung der physikalisch-chemischen Dynamik des Bodens untersuchte AP 3 auch die Dynamik der Bodenbakterien- und Pilzgemeinschaften als Reaktion auf Fruchtfolge, Bewässerung und Bodenbearbeitungspraktiken. Die Ergebnisse zeigten keine konsistenten oder dominanten Muster, die auf ausgeprägte Veränderungen in der Struktur der Bakterien- oder Pilzgemeinschaften hindeuten würden, die ausschließlich auf Fruchtfolge, Bodenbearbeitung oder Bewässerungsmaßnahmen zurückzuführen wären.

Durch die Integration kurzfristiger physiologischer Reaktionen mit langfristigen Boden- und Systemindikatoren trägt dieses Projekt zu einer umfassenden Bewertung der Bewirtschaftungsoptionen für eine nachhaltige Sojabohnenproduktion bei und bewertet gleichzeitig die agronomische Machbarkeit und Nachhaltigkeit von Anbausystemen auf Sojabohnenbasis unter den klimatischen und Bodenbedingungen Nordostdeutschlands.